

## 【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 23-175  
補助事業名 平成23年度 超高強度低合金TRIP鋼の水素脆化特性補助事業  
補助事業者名 北條智彦

### 1 補助事業の概要

#### (1) 事業の目的

近年、乗用車の車体軽量化と衝突安全性の向上が求められている。現在、590～980MPa 級の高強度鋼板が多くの乗用車に適用されているが、将来的には1280MPa 級以上の超高強度鋼板が必要となってくる。一般的に、高強度鋼板は980MPa を超えるとプレス成形性、衝撃特性が著しく低下する。さらに、水素による脆化が問題となる。超高強度鋼板の中で、残留オーステナイトの変態誘起塑性（TRIP：Transformation Induced Plasticity）を有効に利用した超高強度低合金TRIP 鋼は優れたプレス成形性、衝撃特性、疲労特性および遅れ破壊特性を有するため自動車用超高強度鋼板としての期待が大きく、多くの研究がおこなわれている。

母相をマルテンサイトとして1480MPa級の超高強度を達成したTRIP型マルテンサイト鋼（TM鋼）は今後、自動車用超高強度鋼板として期待されるが、水素脆化に関する研究はなく、これに関する研究が急がれる。

超高強度低合金TRIP鋼を自動車に適用することを目的に超高強度低合金TRIP鋼の水素脆化特性に及ぼす添加合金元素の影響を調査した。

#### (2) 実施内容

真空溶解によって0.2C-1.5Si-1.5Mn（mass%）の組成を有する板厚1.2 mmの冷延鋼板（A鋼）を作製した。この冷延鋼板、および化学組成の異なる他の冷延鋼板（B鋼～F鋼）から平行部長さ20 mm、幅 6mmのJIS14B号試験片を作製した。その後、950 °C×1200 sで焼入れをし、250 °Cまたは350 °C×1000 sのパーティショニング処理を行い、母相をマルテンサイトとした超高強度TRIP型マルテンサイト鋼（TM鋼）を作製した。また、TM鋼と同様の冷延鋼板を用いて950 °C×1200 sの焼鈍し後、350 °C×1000 sのオーステンパー処理を施した超高強度TRIP型ベイニティックフェライト鋼（TBF鋼）を作製した。

熱処理後の試験片を用いて、試料表面を鏡面仕上げしたあと、5 %硝酸アルコールにより試料のエッチングを行い、走査型電子顕微鏡（SEM）により微細組織観察を行った。

熱処理後の試験片を用い、残留オーステナイト特性を調査した。残留オーステナイト初期体積率（ $f_{\gamma_0}$  (vol%)）はMo-K $\alpha$ 線によって測定された(200) $\alpha$ 、(211) $\alpha$ 、(200) $\gamma$ 、(220) $\gamma$ 、(311) $\gamma$ 回折ピークの積分強度より計算した。また、残留オーステナイトの初期炭素濃度（ $C_{\gamma_0}$  (mass%)）はCu-K $\alpha$ 線によって測定した(200) $\gamma$ 、(220) $\gamma$ 、(311) $\gamma$ ピーク角度

から求めた格子定数 $a_{\gamma}$  ( $\times 10^{-1}\text{nm}$ )から求めた。

水素脆化試験は平行部長さ20 mm, 幅6 mm, 板厚1.2 mmのJIS14B号試験片を用い, インストロン型万能試験機によりクロスヘッド速度1 mm/min, 25 °Cで水素吸蔵前後に行った。水素吸蔵は陰極チャージ法により行った。水素チャージ液には3 %NaCl + 3 g/L-NH<sub>4</sub>SCN水溶液を用いて電流密度10 A/mm<sup>2</sup>, 25 °Cの条件で48 時間行った。水素脆化特性は水素脆化感受性 (HES) により評価した。

水素脆化試験のときと同様の水素チャージ条件で水素を吸蔵し, 昇温脱離分析法によって鋼中の水素量および水素存在状態を分析した。

### ○ 実験結果

#### 1) 引張特性および微細組織

Fig. 1に熱処理後のTM鋼の微細組織を示す。TM鋼の母相はマルテンサイトラス組織を有し, そのラス境界にフィルム状 $\gamma_R$ が存在した。一方, TBF鋼はベイニティックフェライトラスとマルテンサイトラスの混合ラス組織を有し,  $\gamma_R$ はそのラス境界に存在した。いずれの超高強度低合金TRIP鋼も合金元素を添加することによって旧 $\gamma$ 粒径が小さくなり, ラスの幅, 長さが短くなって基本鋼よりも微細均一な組織となった。

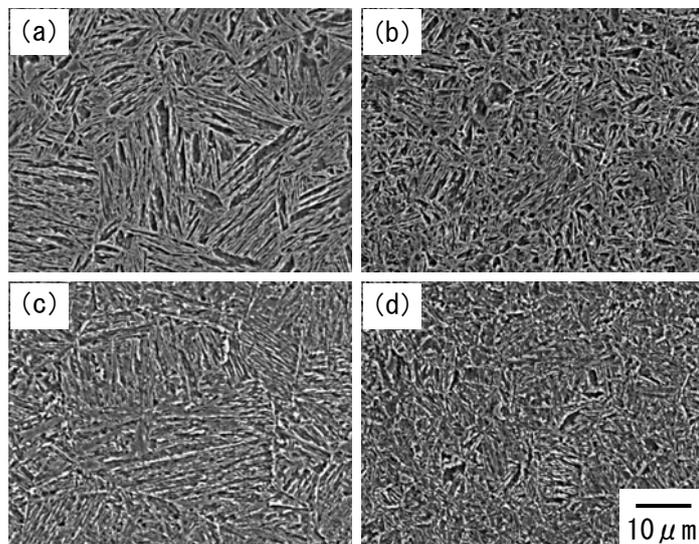


Fig. 1 Microstructure of TM ((a) and (b)) and TBF ((c) and (d)) of base steel ((a) and (c)) and 1.0Cr steel ((b) and (d)).

TM鋼の引張強さ (TS) はTBF鋼よりも高い傾向を示した。全伸び (TEI) はTBF鋼よりも小さかったが, 強度-延性バランス (TS $\times$ TEI) は両鋼ともほぼ同程度だった。TM鋼はCr, Cr-MoまたはNi-Cr-Moを添加することによりTSが上昇し, TEIも増加した。

TM鋼の残留オーステナイト初期体積率 ( $f_{\gamma_0}$ ) はTBF鋼よりも低く, その初期炭素濃度 ( $C_{\gamma_0}$ ) はTBF鋼とほぼ同程度の値となった。いずれの鋼も合金元素の添加による $\gamma_R$ 特性のおおきな変化は見られなかった。

#### 2) 水素脆化特性

Fig. 2にTM鋼の基本鋼および1.0%Cr鋼の水素吸蔵前後の応力ひずみ線図を示す。いずれのTM鋼も水素を吸蔵すると伸びが低下した。しかし, 1.0%Cr鋼は基本鋼と比較して水素吸蔵後の全伸びの低下量が少なかった。また, いずれの鋼も水素吸蔵後も一様伸びの範囲まではほぼ同じ挙動を示した。Fig. 3にTM鋼およびTBF鋼の引張強さ (TS) と水素脆化感受性 (HES) の関係を示す。いずれの超高強度低合金TRIP鋼も合金元素を添加すると強度が上昇するにも

かかわらずHESは低下した。とくに、1.0 mass%Cr添加鋼は低いHESを有した。

一般に超高強度鋼の耐水素脆化特性は組織の微細均一化、炭化物や $\gamma_R$ などの水素トラップ効果による破壊起点の水素濃度低減などによって向上する。TM鋼はCrを添加することによって結晶粒径が小さくなり、ラスの幅、間隔が小さくなったことが確認された。したがって合金元素の添加による組織微細均一化が超高強度低合金TRIP鋼の水素脆化感受性を低下させたと考えられた。

また、TM鋼、TBF鋼とも鋼中には約2~7%の $\gamma_R$ が安定に存在していた。Fig. 4に示すようにTM鋼、TBF鋼のHESは $\gamma_R$ の有効炭素濃度( $f_{\gamma_0} \times C_{\gamma_0}$ )が高くなるにしたがって低下した。

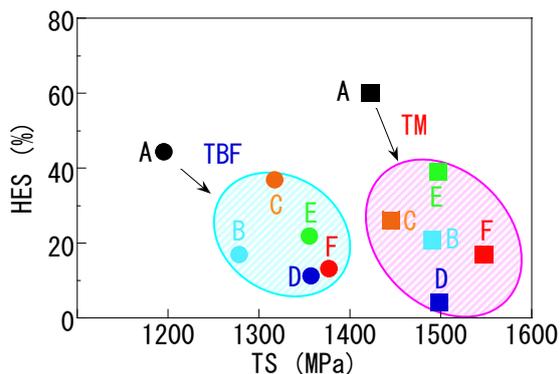


Fig. 3 Variations in hydrogen embrittlement susceptibility (*HES*) as a function of tensile strength (*TS*) in TM and TBF steels.

$\gamma_R$ または母相/ $\gamma_R$ 境界には多くの水素が吸蔵される。しかし、 $\gamma_R$ が水素吸蔵するとその安定性が低下し、マルテンサイト変態しやすくなる。 $\gamma_R$ がマルテンサイト変態すると、 $\gamma_R$ とマルテンサイトの水素吸蔵能の差から、マルテンサイトに吸蔵することのできなかつた多くの水素が結晶粒界などに放出される。 $f_{\gamma_0} \times C_{\gamma_0}$ の高い超高強度低合金TRIP鋼では、安定な $\gamma_R$ が多くの水素を吸蔵し、引張試験初期でのマルテンサイト変態を抑制したため結晶粒界やラス境界への水素吸蔵を抑制し、水素脆化感受性を低下させたと考えられた。

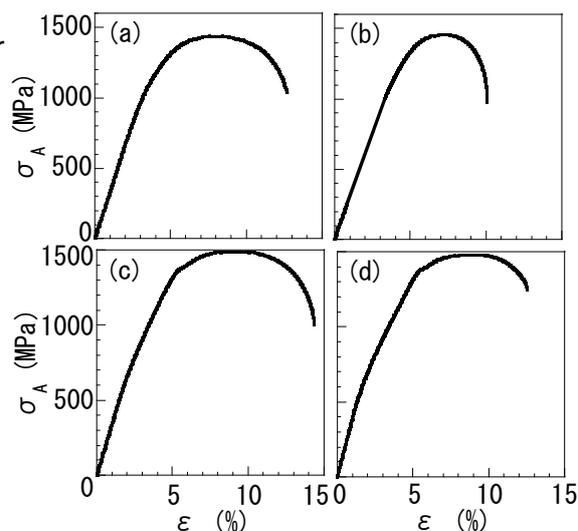


Fig. 1 Change in flow curves of (a and b) steel A and (c and d) steel D (a and c) before and (b and d) after hydrogen charging.

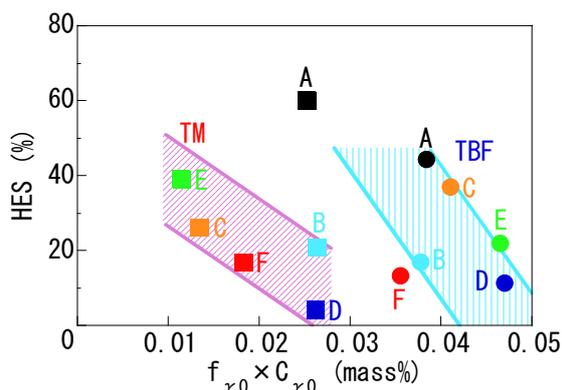


Fig. 4 Variations in hydrogen embrittlement susceptibility (*HES*) as a function of initial total carbon concentration ( $f_{\gamma_0} \times C_{\gamma_0}$ ) in TM and TBF steels.

2 予想される事業実施効果

超高強度低合金TRIP鋼が自動車用フレーム部材に適用されることによって自動車の軽量化、衝突安全性の向上が達成され、自動車からの地球温暖化ガスの削減に大きく貢献することが予想される。

3 本事業により作成した印刷物等 該当なし

4 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 津山工業高等専門学校（ツヤマコウギョウコウトウセンモンガッコウ）

住 所： 〒708-8509

岡山県津山市沼624-1

申 請 者： 講師北條智彦（ホウジョウトモヒコ）

担 当 部 署： 機械工学科（キカイコウガクカ）

E-mail： hojo@tsuyama-ct.ac.jp